

**О.Г. КОРОЛЬ, Б.В. КЛИМЕНКО, О.В. ЕРЕСЬКО**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В ПРИСТРОЇ ФОРСОВАНОГО КЕРУВАННЯ МОНОСТАБІЛЬНИМ ЕЛЕКТРОМАГНІТОМ ВАКУУМНОГО КОНТАКТОРА**

Проведено огляд систем форсованого керування з пусковими і утримуючими обмотками. Виявлено, що існує велика кількість різноманітних систем форсованого керування електромагнітами. Встановлено, що у контакторах найчастіше застосовуються системи форсованого керування з пусковими та утримуючими обмотками. Розглянуті переваги та недоліки таких систем форсованого керування. Виявлено, що найбільш розповсюджений пристрій форсованого керування моностабільними електромагнітами містить дві котушки з двома обмотками: пусковою (В – buster) і утримуючою (Н – hold), та нормально-замкнений контакт блоку допоміжних контактів, а також діодний мост, діод та конденсатор. Такий пристрій широко застосовується багатьма провідними виробниками вакуумних контакторів, таких як: ABB, Siemens, Alstom (Areva), Schneider Electric, Eaton, Електродинаміка тощо. Проведено експериментальні дослідження перехідних процесів в одному з комутаційних апаратів – вакуумному контакторі, у якому застосовано даний пристрій, а саме на серійному триполюсному вакуумному контакторі КВТн-250/1,14 виробництва компанії «Електродинаміка». Було проведено дві серії дослідів: перша серія дослідів проведена для існуючої системи форсованого керування, а друга серія дослідів – для системи форсованого керування в якій було закорочено діод, анод і катод якого були з'єднані з кінцями утримуючих обмоток відповідно першої і другої котушок електромагніта. Дослідження проведені за допомогою цифрового двопробеневого осцилографа SIGLENT SDS1052. Були отримані осцилограми струму і напруги в пусковій та утримуючій обмотках при різних значеннях напруги  $U = 220, 180, 150$  В та при живленні від джерела постійної напруги, а потім від джерела змінної напруги. Проведено аналіз експериментальних досліджень. Виявлені переваги та недоліки пристрою форсованого керування. Виявлено, що комутаційний апарат (вакуумний контактор КВТн-250/1,14) не спрацює при неприпустимому зниженні напруги, що призведе до перегріву котушки і вона вийде з ладу. Зроблені висновки та показані можливості вдосконалення пристрою форсованого керування моностабільними електромагнітами.

**Ключові слова:** вакуумний контактор, актуатор, моностабільний електромагніт, пристрій форсованого керування, пускова обмотка, утримуюча обмотка.

**Е. Г. КОРОЛЬ, Б.В. КЛИМЕНКО, А.В. ЕРЕСЬКО**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В УСТРОЙСТВЕ ФОРСИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОНОСТАБИЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТОМ ВАКУУМНОГО КОНТАКТОРА**

Проведен обзор систем форсированного управления с пусковыми и удерживающими обмотками. Обнаружено, что существует большое количество различных систем форсированного управления электромагнитами. Установлено, что в контакторах чаще всего применяются системы форсированного управления с пусковыми и удерживающими обмотками. Рассмотрены преимущества и недостатки таких систем форсированного управления. Обнаружено, что наиболее распространено устройство форсированного управления моностабильными электромагнитами содержит две катушки с двумя обмотками: пусковой (В – buster) и удерживающей (Н – hold), и нормально-замкнутый контакт блока вспомогательных контактов, а также диодный мост, диод и конденсатор. Такое устройство широко применяется многими ведущими производителями вакуумных контакторов, таких как: ABB, Siemens, Alstom (Areva), Schneider Electric, Eaton, Электродинамика и другими. Проведены экспериментальные исследования переходных процессов в одном из коммутационных аппаратов – вакуумном контакторе, в котором применено данное устройство, а именно, на серийном трехполюсном вакуумном контакторе КВТн-250 / 1,14 производства компании «Электродинамика». Было проведено две серии опытов: первая серия опытов проведена для существующей системы форсированного управления, а вторая серия опытов – для системы форсированного управления, в которой был закорочен диод, анод и катод которого были соединены с концами удерживающих обмоток соответственно первой и второй катушек электромагнита. Исследования проводились с помощью цифрового двухлучевого осциллографа SIGLENT SDS1052. Были получены осциллограммы тока и напряжения в пусковой и удерживающей обмотках при различных значениях напряжения  $U = 220, 180, 150$  В, при питании от источника постоянного напряжения, а затем при питании от источника переменного напряжения. Проведен анализ экспериментальных исследований. Выявлены преимущества и недостатки устройства форсированного управления. Выведено, что коммутационный аппарат (вакуумный контактор КВТн-250/1,14) не сработает при недопустимом снижении напряжения, что приведет к перегреву катушки и она выйдет из строя. Сделаны выводы и показаны возможности совершенствования устройства форсированного управления моностабильными электромагнитами.

**Ключевые слова:** вакуумный контактор, актуатор, моностабильный электромагнит, устройство форсированного управления, пусковая обмотка, удерживающая обмотка.

**O.G. KOROL, B.V. KLIMENKO, O.V. ERESKO**

## **INVESTIGATIONS OF TRANSIENTS IN THE DEVICE OF FORCED CONTROL OF THE VACUUM CONTACTOR MONOSTABLE ELECTROMAGNET**

A review of systems of forced control with buster and holding windings is carried out. It is found that there is a large number of various systems of forced control of electromagnets. It has been established that in the contactors systems of forced control with buster and holding windings are most often used. The advantages and disadvantages of such systems of forced control are considered. It has been discovered that the most commonly used forced control device for monostable electromagnets consists of two coils with two windings: buster (B) and holding (H), and a normally closed contact of the auxiliary contact block, as well as a diode rectifier, a diode and a capacitor. Such a device is widely used by many leading manufacturers of vacuum contactors such as: ABB, Siemens, Alstom (Areva), Schneider Electric, Eaton, Electrodynamics, etc. Experimental studies of transients in one of the switching devices – the vacuum contactor in which this device is used, namely, the serial three-pole vacuum contactor КВТн-250/1,14 produced by Electrodynamics Company are carried out. Two series of experiments were conducted: the first series of experiments was conducted for the existing system of forced control, and the second series of experiments – for a forced control system in which the diode was shortened, the anode and cathode of which were connected with the ends of the retaining windings, respectively, of the first and the second coils of the electromagnet. The research was carried out using a digital two-beam oscilloscope SIGLENT SDS1052. The oscillograms of current and voltage in the buster and holding windings are obtained at various voltage values  $U = 220, 180, 150$  V, and when powered from a source of constant voltage, and then from a source of alternating voltage. The analysis of experimental research is carried out. The advantages and disadvantages of the forced control device are revealed. It is revealed that the switching device (vacuum contactor КВТн-250/1,14) will not operate at an unacceptable voltage drop, which will lead to over-

© О.Г. Король, Б.В. Клименко, О.В. Ереско, 2018

heating of the coil, and it will fail. The conclusions are made and possibilities of perfection of the forced control device for monostable electromagnets are shown.

**Key words:** vacuum contactor, actuator, monostable electromagnet, forced control device, buster winding, holding winding.

**Вступ.** Електродвигуни є найбільш розповсюдженими споживачами електричної енергії, вони споживають приблизно дві третини від всієї електроенергії, що виробляється в країні [1]. Основним комутаційним апаратом, що здійснює підключення електродвигуна до мережі живлення, є контактор. Відомо, що контактор називають електро механічний комутаційний апарат лише з одним положенням спокою, з не ручним приводом, який спроможний вмикати, проводити та вимикати струми у нормальних умовах кола, а також в умовах перевантажень [2]. Переважна більшість контакторів застосовуються у колах низької та середньої напруги здебільшого для керування електродвигунами, системами освітлення, тощо. Контакттори бувають повітряні, газові, вакуумні тощо, в залежності від середовища (повітря, газ, вакуум, тощо), в якому знаходяться головні контакти. Контакттори поділяють також у залежності від способу, яким забезпечується сила для вмикання головних контактів, на електромагнітні, пневматичні та електропневматичні, а в залежності від струму головного кола на контактори постійного та змінного струму. Електромагнітні контактори приводяться в дію за допомогою електромагнітів, а пневматичні та електропневматичні – за допомогою пневматичних приводів, зазвичай поршневих, рідше – мембранних.

С кожним роком постійно збільшується попит на вакуумні контактори, за рахунок того, що вони мають високу надійність і герметичність, оскільки всередину вакуумних переривників, які мають невеликі габаритні розміри, на контакти не потрапляє пил та інші забруднення. Вакуумні контактори – це зазвичай триполюсні контактори змінного струму, що призначені для керування асинхронними електродвигунами. Вони експлуатуються на вугільних та інших гірничодобувних підприємствах з підвищеним рівнем запиленості, в хімічній, нафтогазовій промисловості тощо, взагалі, у будь-яких умовах, де потрібна безпечна локалізація електричної дуги, що виникає на контактах при комутації потужних навантаж.

У вакуумних контакторах у якості приводів, для зменшення їхніх розмірів та споживаної потужності, а також для підвищення швидкодії, найчастіше застосовуються форсовані електромагнітні системи, що складаються з актуаторів – моностабільних електромагнітів разом з поворотними пружинами та пристроїв форсованого керування. Відомо велика кількість різноманітних систем форсованого керування електромагнітами, але саме у контакторах найчастіше застосовуються системи форсованого керування з пусковими та утримуючими обмотками [3].

**Огляд систем форсованого керування з пусковими та утримуючими обмотками.** Як впливає із назви, форсовані системи з пусковими і утримуючими обмотками повинні містити не менш двох неоднакових обмоток. Одну обмотку прийнято називати пусковою, а другу – утримуючою. Пускова обмотка має відносно мале число витків та намотана проводом великого поперечного перерізу, відтак вона розвиває значну МРС,

але у ній виділяється велика кількість енергії. На відміну від пускової обмотки утримуюча навпаки має велике число витків та намотана проводом малого перерізу, в ній виділяється невелика кількість енергії, а МРС цієї обмотки значно менше ніж у пускової. Втім, цього значення МРС достатньо, щоб утримувати якір в притягнутому положенні [3]. Пускова обмотка має працювати короткочасно, а утримуюча – тривало. Зазвичай обидві обмотки намотуються одна на одну в одній котушці.

На рис. 1а показана схема системи форсованого керування [4], що містить дві обмотки: пускову (В – buster) і утримуючу (Н – hold), та нормально-замкнений контакт. Ця система успішно застосовується у багатьох галузях вже багато років.

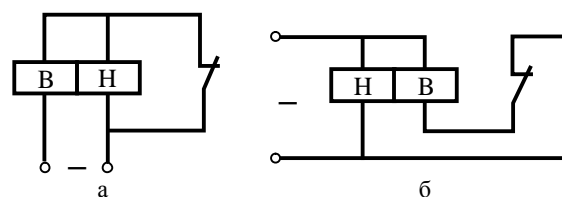


Рис. 1. Схеми систем форсованого керування:

а – з послідовним з'єднанням пускової та утримуючої обмоток;  
б – паралельним з'єднанням пускової та утримуючої обмоток

В момент включення повна напруга джерела живлення прикладається до пускової обмотки, що забезпечує значну МРС. При цьому струм, що тече через пускову обмотку, спричиняє спрацювання привідного електромагніта, який розмикає допоміжний контакт, внаслідок чого послідовно з пусковою включається утримуюча обмотка, внаслідок чого струм в обмотках зменшується до допустимого значення.

Недоліками цієї системи форсованого керування є такі:

- наявність розмикального контакту, що знижує надійність роботи системи внаслідок підвищеного зносу контакту під час горіння електричної дуги;
- відносно низька швидкодія через існування в період пуску замкнутого контуру, утвореного утримуючою обмоткою і розмикальним контактом;
- недостатня експлуатаційна надійність пристрою, що обумовлена відсутністю захисту від неприпустимого зниження напруги, коли комутаційний апарат може не спрацювати і контакт не розімкнеться, внаслідок чого відбудеться збільшення пускового струму на пускових обмотках і вони можуть бути пошкоджені внаслідок перегріву.

Також широко застосовується система форсованого керування [5], що містить пускову та утримуючу обмотки. У цій системі обмотки з'єднані паралельно, а нормально-замкнений контакт, включений послідовно з пусковою обмоткою (рис. 1б).

У цій системі в момент пуску використовуються обидві обмотки, а після спрацювання електромагніта розмикається нормально-замкнений контакт і пускова обмотка вимикається.

На додаток до недоліків, притаманних системі, що зображена на рис. 1а, у цій системі МРС в режимі утримання зменшується, тому що пускова обмотка в цьому режимі не використовується, й збільшується напруга відпадання.

У комутаційних апаратах з електромагнітами, які мають два сердечника й дві котушки, може бути застосована система форсованого керування [6], схема якої показана на рис. 2. Обмотки з'єднані за схемою невірноваженого мосту, а нормально-замкнений контакт включений у його діагональ.

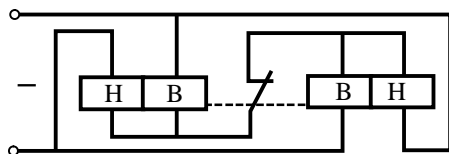


Рис. 2. Схема форсованої системи керування з двома пусковими та двома утримуючими обмотками [6]

Додатковим недоліком цього пристрою (на додаток до тих, що були вказані вище) є те, що до кожної з утримуючих обмоток після розмикання контакту прикладається майже повна напруга джерела живлення, що потребує застосування в цих обмотках дуже тонкого проводу з великою кількістю витків, а до пускових обмоток в період пуску прикладається лише половини напруги джерела живлення, що змушує застосовувати дуже товстий обмотувальний провід.

Найбільш розповсюдженою системою форсованого керування, яка застосовується провідними виробниками вакуумних контакторів, таких як ABB, Siemens, Alstom (Areva), Schneider Electric, Eaton тощо у сучасних контакторах низької та середньої напруги з моностабільними електромагнітами, є система, схема якої показана на рис. 3. Ця схема не приводиться у каталогах виробників, вказаних вище, але вона міститься у каталозі вітчизняного виробника – НПП Електродинаміка [8, 9]

Завдяки наявності діодного мосту VD1 на вхід пристрою керування може подаватися як змінна, так і постійна напруга. На вході діодного мосту VD1 для захисту від перенапруг встановлено варистор RV. В період пуску обидві пускові обмотки з'єднані послідовно, а утримуючі обмотки закорочені розмикальним контактом. Під час спрацювання контактора цих обмотках наводиться ЕРС, але діод VD2 перешкоджає проходженню зустрічного струму. При спрацюванні контактора допоміжний контакт розмикається, у цей час конденсатор С сприяє гасінню дуги на допоміжному контакті, а після гасіння дуги утримуючі обмотки виявляються приєднаними послідовно до пускових.

Як вже зазначалося, розглянута система форсованого керування широко застосовується багатьма виробниками, але нам не відомі публікації, у яких би досліджувалися процеси, що відбуваються у цій системі, аналізувалися її переваги та недоліки.

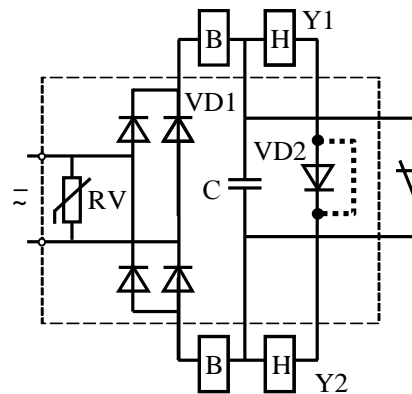


Рис. 3. Схема електромеханічної форсованої системи керування вакуумного контактора

**Метою роботи** є експериментальні дослідження процесів у пристрої (системі) форсованого керування моностабільним електромагнітом вакуумного контактора, який є одним з найбільш розповсюджених в комутаційних апаратах, аби виявити переваги та недоліки цього пристрою (системи), а також показати перспективи вдосконалення цієї системи.

**Досліджуваний контактор.** Експериментальні дослідження виконувалися на серійному триполюсному вакуумному контакторі КВТн-250/1,14 виробництва компанії «Електродинаміка» [7]. На рис. 5 наведено фото цього контактора та позначено такі його елементи: 1 – вакуумні переривники, 2 – термінали, 3 – котушки, 4 – поворотна пружина, 5 – блоки допоміжних контактів, 6 – пристрій керування, 7 – монтажні отвори.

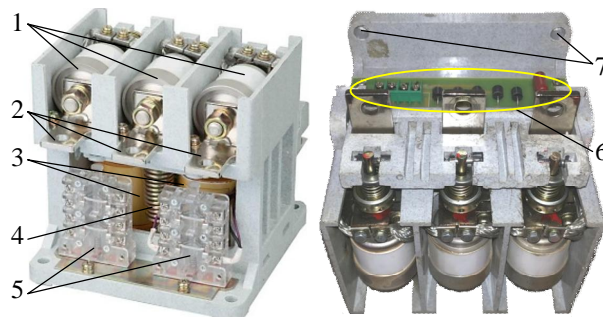


Рис. 5. Зовнішній вигляд досліджуваного контактора КВТн-250/1,14

У досліджуваному контакторі застосовано серійний пристрій керування контактора КВТн-250/1,14 (рис. 6), у якому було встановлено дві стаціонарні частини штепсельних рознімачів з штировими контактами (1 та 4) для приєднання обмоток двох котушок, до виводів яких було приєднано відповідні знімні частини рознімачів з гніздовими контактами, а також два резистори, які виконували функції вимірювальних шунтів у колах пускової обмотки однієї з котушок (3) та утримуючої обмотки цієї ж котушки (4).

Схема стенду для дослідження перехідних процесів в пристрої (системі) форсованого керування моностабільним електромагнітом шахтного контактора КВТн-250/1,14 виробництва компанії «Електродинаміка» зображена на рис. 7.

Позначення на схемі: Q1 – вимикач, який підклю-

чає джерело змінної напруги до схеми живлення стаціонарного столу; HL1 – лампочка, яка сигналізує про наявність живлення стаціонарного столу; X3 – розетка, до якої підключається за допомогою електричної вилки стенд з контактором шахтним КВТн-250/1,14 заводу «Електродинаміка»; Q2 – вимикач, який підключає джерело змінної напруги до схеми живлення стенду; HL2 – лампочка, яка сигналізує про наявність живлення схеми стенду; R1, R2, R3, R4 – резистори подільників напруги; T – автотрансформатор для регулювання величини напруги U; X1 – штекер для підключення до автотрансформатора T; PV – вольтметр; Q3 – вимикач, який підключає джерело змінної напруги до схеми керування вакуумного контактора; X2 – розетка, до якої підключається за допомогою електричної вилки осцилограф.

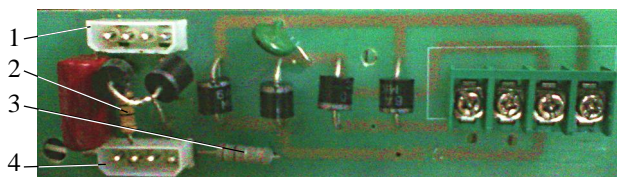


Рис. 6. Пристрій керування досліджуваного контактора

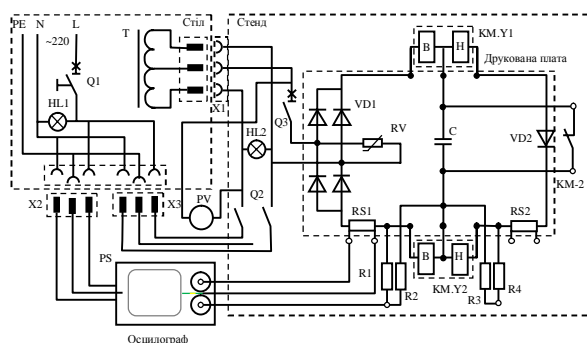


Рис. 7. Схема стенду для дослідження перехідних процесів в пристрої (системі) форсованого керування моностабільним електромагнітом досліджуваного контактора КВТн-250/1,14

### Результати досліджень процесів в системі форсованого керування моностабільним електромагнітом контактора КВТн-250/1,14.

В процесі досліджень, які виконувалися із застосуванням двохпроменевого цифрового осцилографа SIGLENT SDS1052, було проведено дві серії дослідів.

Перша серія дослідів була проведена для існуючої системи форсованого керування, схема якої представлена на рис. 4. У другій серії дослідів діод VD2, анод і катод якого були з'єднані з кінцями утримуючих обмоток відповідно першої і другої котушок електромагніта, було закорочено (див. рис. 4 пунктирна лінія).

У досліді на місці діода VD2 застосовувався "штатний" діод 6A10, який відноситься до діодів загального призначення, що випрошують струми в колах до 6 А з напругою 1000 В.

Отримані осцилограми струму і напруги в пусковій обмотці (рис. 8) і утримуючій обмотці (рис. 9), під час виконання операції включення, при змінній напрузі при  $U = 220, 180, 150$  В для системи форсова-

ного керування, в якій є діод VD2 (рис. 4) та в якій його було закорочено (рис. 4 пунктирна лінія).

Отримані осцилограми струму і напруги в пусковій обмотці (рис. 10) і утримуючій обмотці (рис. 11), під час виконання операції включення, при постійній напрузі при  $U = 220, 180, 150$  В для системи форсованого керування, в якій є діод VD2 (рис. 4) та в якій його було закорочено (рис. 4 пунктирна лінія).

Згідно отриманих осцилограм було встановлено час спрацьовування електромагніта (табл. 1).

Таблиця 1 – Час спрацьовування електромагніта

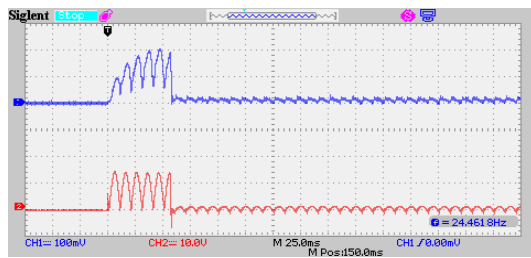
За наявності діода VD2		
~ 220 В	~ 180 В	~ 150 В
55 мс	85 мс	не спрацював
Без діода VD2		
~ 220 В	~ 180 В	~ 150 В
145 мс	не спрацював	не спрацював
За наявності діода VD2		
- 220 В	- 180 В	- 150 В
52 мс	95 мс	не спрацював
Без діода VD2		
- 220 В	- 180 В	- 150 В
115 мс	110 мс	не спрацював

Аналізуючи наведені результати експериментальних досліджень, звернімо увагу на такі моменти:

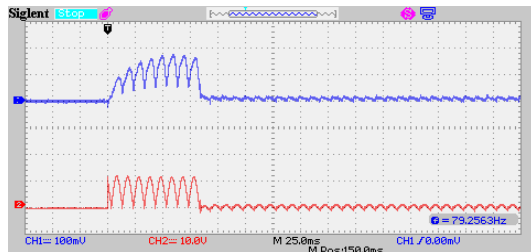
1. При живленні системи керування від джерела постійного струму, в період пуску в утримуючих обмотках струм взагалі не тече, а при живленні від джерела змінного струму, коли змінна складова ЕРС в утримуючих обмотках є додатною діод VD2 закривається і струм в утримуючих обмотках не тече, натомість, коли змінна складова ЕРС в утримуючих обмотках стає від'ємною, у цих обмотках проходить струм, але у напрямі, який співпадає з напрямом струму у пускових обмотках, що пришвидшує процес спрацьовування.

2. При живленні від джерела постійного струму  $U$  – це значення напруги на вході діодного мосту, на виході якого напруга буде меншою приблизно на 2 В меншою за рахунок падіння напруги на діодах. При живленні від джерела змінного струму  $U$  – це середньоквадратичне значення напруги на вході діодного мосту, на виході якого утворюється двонапівперіодна випростана напруга, яка має постійну та змінну складові, мінус падіння напруги на діодах. Постійна складова – це середнє значення напруги, яке приблизно в 1,11 разів менше за  $U$ , а відтак, середнє значення струму настільки ж менше значення струму при живленні від джерела постійного струму, що негативно впливає на тягову силу, а відтак, і на швидкість апарата. З іншого боку, у перехідних режимах на силу може суттєво впливати й змінна складова струму, яка може бути суттєвою у колах з відносно невеликою індуктивністю, як у пускової обмотки в період пуску, що може збільшувати тягову силу й підвищувати швидкість апарата.

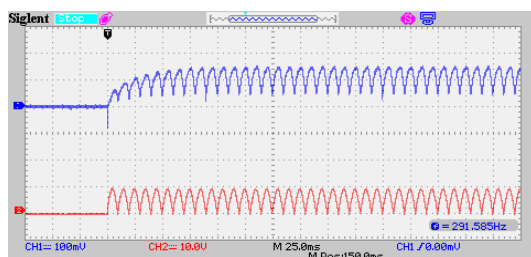
В момент підключення системи керування до джерела живлення спостерігаються значні виплески напруги на виводах утримуючої обмотки. Наприклад, в обмотках, призначених для застосування у мережах живлення з номінальною напругою 220 В значення перенапруги в одній обмотці може сягати 600 В й



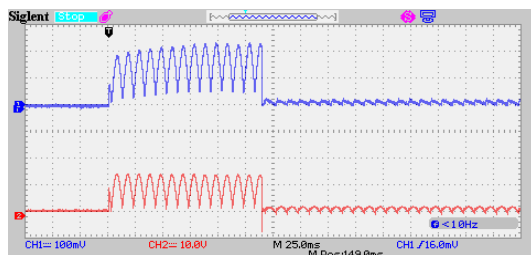
а



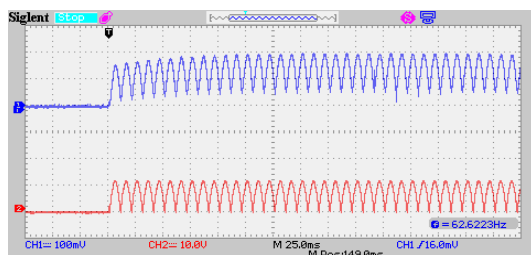
б



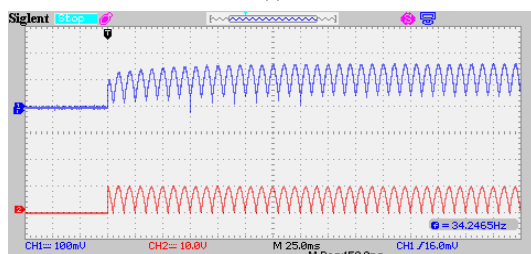
в



г

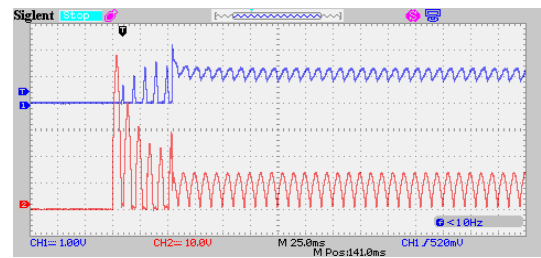


д

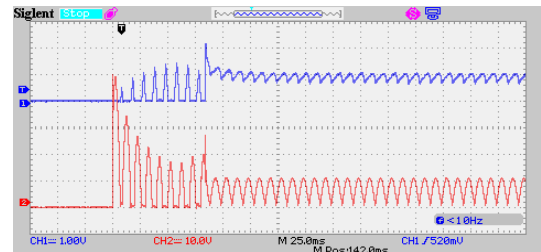


е

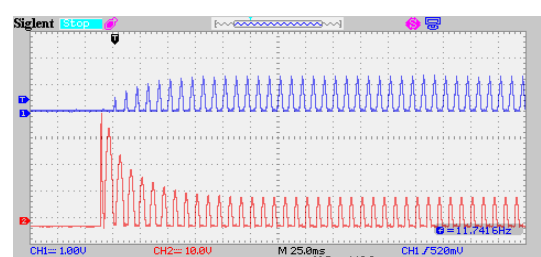
Рис. 8. Динамічні характеристики струму і напруги в пусковій обмотці при живленні від джерела змінної напруги: а –  $U = 220$  В (з діодом VD2); б –  $U = 180$  В (з діодом VD2); в –  $U = 150$  В (з діодом VD2); г –  $U = 220$  В (без діода VD2); д –  $U = 180$  В (без діода VD2); е –  $U = 150$  В (без діода VD2)



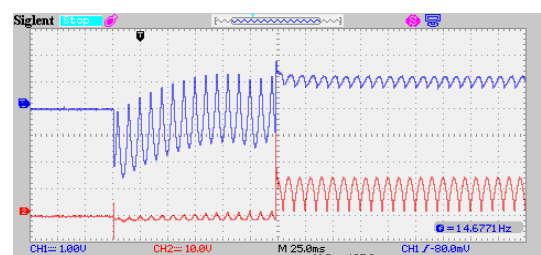
а



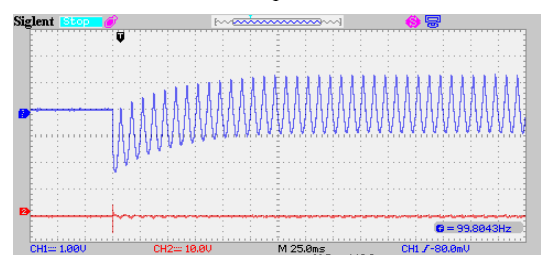
б



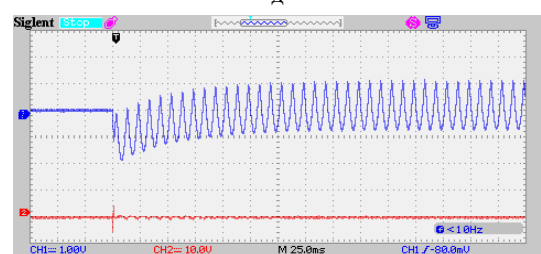
в



г



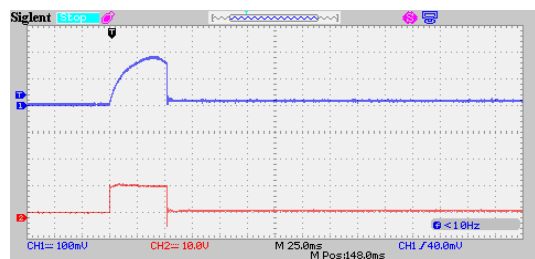
д



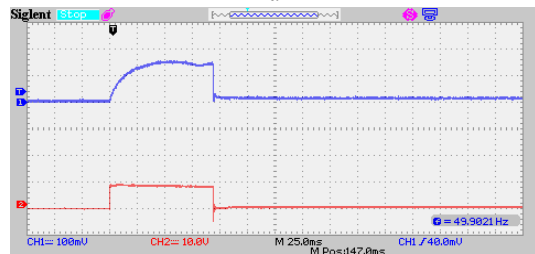
е

Рис. 9. Динамічні характеристики струму і напруги в утримуючій обмотці при живленні від джерела змінної напруги: а –  $U = 220$  В (з діодом VD2); б –  $U = 180$  В (з діодом VD2); в –  $U = 150$  В (з діодом VD2); г –  $U = 220$  В (без діода VD2); д –  $U = 180$  В (без діода VD2); е –  $U = 150$  В (без діода VD2)

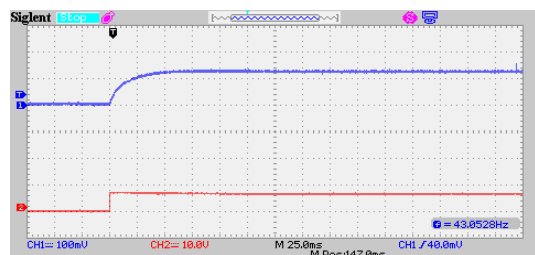




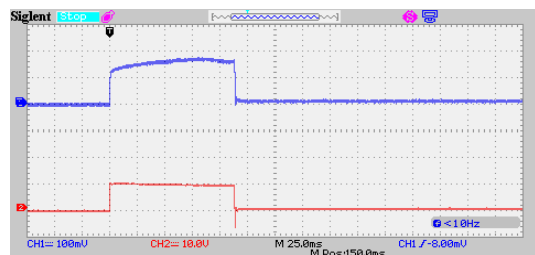
а



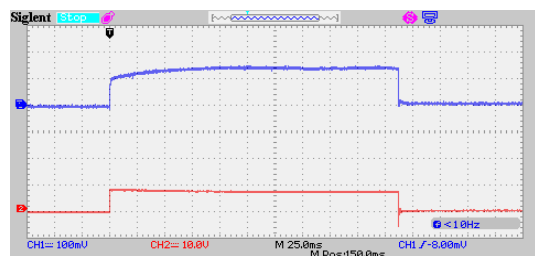
б



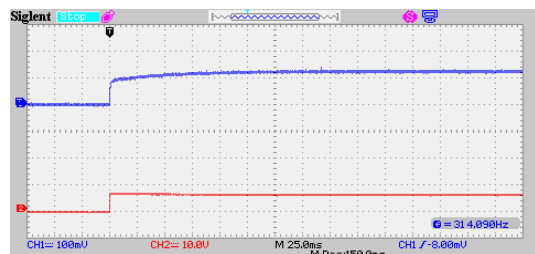
в



г

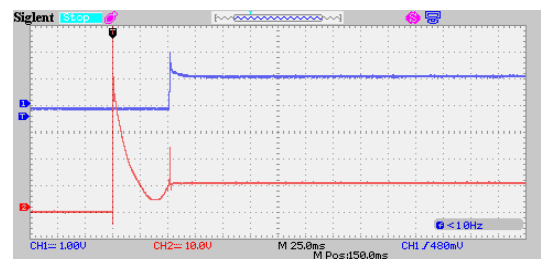


д

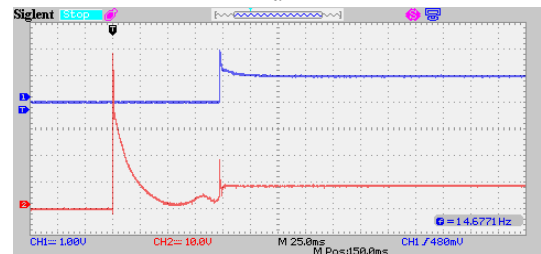


е

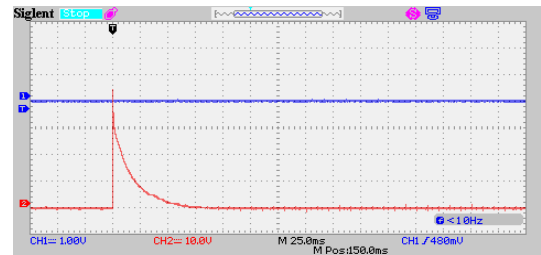
Рис. 10. Динамічні характеристики струму і напруги в пусковій обмотці при живленні від джерела постійної напруги: а –  $U = 220$  В (з діодом VD2); б –  $U = 180$  В (з діодом VD2); в –  $U = 150$  В (з діодом VD2); г –  $U = 220$  В (без діода VD2); д –  $U = 180$  В (без діода VD2); е –  $U = 150$  В (без діода VD2)



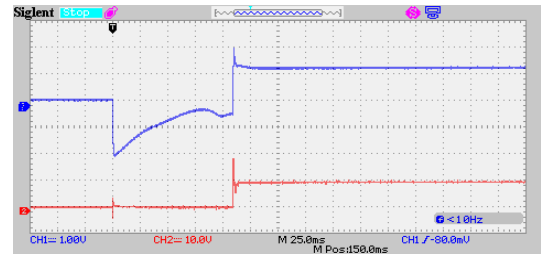
а



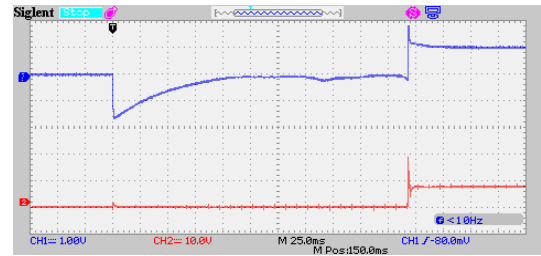
б



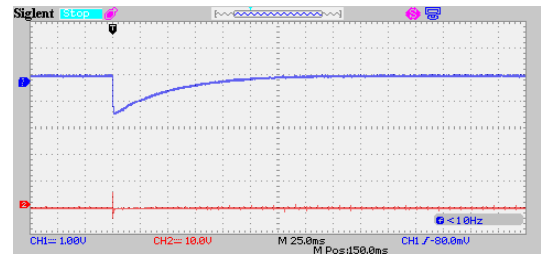
в



г



д



е

Рис. 11. Динамічні характеристики струму і напруги в утримуючій обмотці при живленні від джерела постійної напруги: а –  $U = 220$  В (з діодом VD2); б –  $U = 180$  В (з діодом VD2); в –  $U = 150$  В (з діодом VD2); г –  $U = 220$  В (без діода VD2); д –  $U = 180$  В (без діода VD2); е –  $U = 150$  В (без діода VD2)

разом у двох обмотках – 1200 В. Така напруга може бути небезпечною, у першу чергу для діода VD2.

На підставі проведених досліджень було встановлено, що, незважаючи на вагомий переваги, розглянута система форсованого керування моностабільним електромагнітом має такі недоліки:

- недостатня надійність пристрою при експлуатації, що обумовлена відсутністю захисту від неприпустимого зниження напруги, при якій контактор може не спрацювати і контакт не розімкнеться, внаслідок чого відбудеться збільшення пускового струму на пускових обмотках і вони можуть бути пошкоджені із-за перегріву;

- наявність нормально-замкненого контакту керування, який при виконанні операції вмикання контактора розмикає великий пусковий струм, спричиняючи появу на контакті електричної дуги, яка зношує контакт і суттєво знижує надійність роботи усього пристрою;

- наявність конденсатора, який, сприяючи зменшенню зносу при виконанні операції вмикання контактора, у той же час, оскільки після виконання операції вмикання контактора на ньому встановлюється майже повна напруга мережі живлення, при виконанні операції вимикання контактора цей конденсатор розряджається на нормально-замкнений контакт, який в цей момент замикається. Розряд конденсатора викликає знос контакта, що знижує надійність роботи контактора.

#### Висновки.

1. Проведено огляд систем форсованого керування з пусковими і утримуючими обмотками. Виявлено, що найбільш перспективною є система, яка містить дві котушки з двома обмотками – пусковою та утримуючою, й нормально-замкнений контакт, діодний міст, діод, конденсатор, варистор. Таку систему застосовують багато виробників вакуумних контакторів, таких як ABB, Siemens, Alstom (Areva), Schneider Electric, Eaton, тощо, але нам не відомі публікації, у яких би досліджувалися процеси, що відбуваються у цій системі, аналізувалися її переваги та недоліки.

2. Проведено дослідження такої електромеханічної системи форсованого керування. Виявлено її недоліки, серед яких слід виділити наступні: при неприпустимому зниженні напруги, комутаційний апарат не спрацює і контакт не розімкнеться, значний пусковий струм буде текти через пускову обмотку, і, якщо у системі керування не будуть передбачені захисні заходи проти зниження напруги, котушка може перегрітися й вийти з ладу, та наявність нормально-замкненого контакту керування.

3. Рекомендовано провести удосконалення при-

строю для форсованого керування моностабільним електромагнітом за рахунок заміни ненадійного комутаційного елемента напівпровідниковим комутаційним елементом, що дозволить суттєво підвищити надійність роботи пристрою в експлуатації.

#### Список літератури

1. [http://vgolos.ua/articles/yak-znyzyty-vytraty-za-elektroenergiyu\\_107347.html](http://vgolos.ua/articles/yak-znyzyty-vytraty-za-elektroenergiyu_107347.html)
2. Клименко Б.В. Комутаційна апаратура, апаратура керування, запобіжники. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. – Харків: Талант, 2008.
3. Клименко, Б. В. Форсированные электромагнитные системы / Б. В. Клименко. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 160 с.
4. А.с. 33230 (СССР). Реле / Г. Т. Андреев, П. В. Боровицкий, Б.Ф. Витман. Опубл. 30.11.33.
5. А.с. 133506 (СССР). Включающее устройство / П.Л. Светличный, В.В. Глушко, Б.Я. Стариков и др. Опубл. в Б.И., 1960, №22.
6. А.с. 559290 (СССР). Электромагнит постоянного тока с форсировкой / Л.Н. Елисеев, Л.И. Евдокимова. Опубл. в Б.И., 1977, №19.
7. Каталог "Контакты электромагнитные трехполюсные переменного тока серии КНТ" [Электронный ресурс] - URL: <http://www.uralelectro.ru/upload/file/KNT.doc> (27.03.2013).
8. <https://www.findpatent.ru/patent/262/2624659.html>
9. <https://electrodinamika.com.ua/catalog/vacuum-contactors/shakhtnye-vakuumnye-kontakty/kontaktor-shakhtnyy-kvtn-250-1-1.php>
10. <https://docplayer.ru/42858351-Tekhnicheskij-pasport-kontaktor-vakuumny-reversivnyy-vk-49-r-tehnicheskoe-opisanie-kontaktor-vakuumny-vk49-tehnicheskoe-opisanie.html>

#### References (transliterated)

1. [http://vgolos.ua/articles/yak-znyzyty-vytraty-za-elektroenergiyu\\_107347.html](http://vgolos.ua/articles/yak-znyzyty-vytraty-za-elektroenergiyu_107347.html)
2. Klymenko B.V. Komutatsiina aparatura, aparatura keruvannia, zapobizhnyky. Terminy, tлумachennia, komentari. Navchalnyi posibnyk. Kharkiv: Talant, 2008.
3. Klimenko, B. V. Forsirovannye jelektromagnitnye sistemy. Moscow: Energoatomizdat, 1989. 160 p.
4. A. s. 33230 (SSSR). Rele / G. T. Andreev, P. V. Borovickij, B.F. Vitman. Opubl. 30.11.33.
5. A. s. 133506 (SSSR). Vkljuchajushhee ustrojstvo. P. L. Svetlichnyj, V. V. Glushko, B. Ja. Starikov i dr. Opubl. v B.I., 1960, 22.
6. A. s. 559290 (SSSR). Jelektromagnit postojannogo toka s forsirovkoj. L. N. Eliseev, L. I. Evdokimova. Opubl. v B.I., 1977, 19.
7. Katalog "Kontakty jelektromagnitnye trehpolsnyje peremennogo toka serii KNT" [Elektronnyj resurs] - URL: <http://www.uralelectro.ru/upload/file/KNT.doc> (27.03.2013).
8. <https://www.findpatent.ru/patent/262/2624659.html>
9. <https://electrodinamika.com.ua/catalog/vacuum-contactors/shakhtnye-vakuumnye-kontakty/kontaktor-shakhtnyy-kvtn-250-1-1.php>
10. <https://docplayer.ru/42858351-Tekhnicheskij-pasport-kontaktor-vakuumny-reversivnyy-vk-49-r-tehnicheskoe-opisanie-kontaktor-vakuumny-vk49-tehnicheskoe-opisanie.html>

Надійшла (received) 20.09.2018

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Король Олена Геннадіївна (Король Елена Геннадьевна, Korol Olena Gennadiivna)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри електричних апаратів; м. Харків, Україна; e-mail: korolelgn@gmail.com

**Клименко Борис Володимирович (Клименко Борис Владимирович, Klymenko Borys Volodymyrovych)** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач, професор кафедри електричних апаратів; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7393-6198>; e-mail: b.v.klymenko@gmail.com

**Ересько Олександр В'ячеславович (Ересько Александр Вячеславович, Eresko Oleksandr Viacheslavovych)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри промислової і біомедичної електроніки; м. Харків, Україна; e-mail: aerhoff@gmail.com